



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA
Grado en Ingeniería de la Salud: Mención en Ingeniería Biomédica

DISPENSADOR AUTOMATIZADO DE MEDICAMENTOS

AUTOMATED MEDICINE DISPENSER

Realizado por
ELIO NEGRIN RUIZ

Tutorizado por
DR. RAFAEL JESÚS NAVAS GONZÁLEZ

Departamento
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

MÁLAGA, noviembre 2020

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
INFORMÁTICA

Grado en Ingeniería de la Salud: Mención en Ingeniería Biomédica

Dispensador Automatizado de medicamentos

Automated medicine dispenser

Realizado por
Elio Negrín Ruiz

Tutorizado por
Dr. Rafael Jesús Navas González

Departamento
Departamento de Electrónica

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
MÁLAGA, Noviembre 2020

Fecha defensa:

Agradecimientos

A mis padres (Hermi y Enrique) por haber siempre confiado en mí, y apoyarme incondicionalmente. A Babi por ser mi apoyo fuera de casa. A mis abuelos paternos y maternos, por haberme transmitido tanto con tan poco. A Rafael por haberme dado la oportunidad de materializar esta idea a pesar de las dificultades que se han presentado este 2020.

Resumen

En este trabajo de fin de grado (TFG) se ha diseñado y fabricado un prototipo de dispensador de dosis de medicamentos automatizado. El sistema dispone de un depósito que almacena de forma ordenada las dosis diarias que corresponden a cada paciente/usuario, junto con la estructura y el mecanismo necesario, controlado por un sistema basado en microcontrolador (Raspberry-Pi), que soporta y gestiona la administración correcta, y a tiempo, de las dosis de medicamentos que cada paciente tiene programadas.

El sistema ofrece una interfaz gráfica, a través de conexión SSH, mediante la cual, el supervisor del paciente es capaz de configurar el dispositivo, estableciendo el número de usuarios a los que se atiende (hasta dos en este prototipo) e indicando, en cada caso, el plan de dispensación de dosis.

El prototipo presenta también un interfaz de usuario simple, (una grabación de voz y una señal luminosa) que permite avisar oportunamente al paciente que su toma está lista; y que, tras la identificación del paciente (mediante una pulsera RFID, propia de cada usuario), y la validación mediante un pulsador, libera la correspondiente dosis de medicamentos.

Este proyecto es el resultado de la integración de tecnologías electrónicas (hardware/software), así como de diseño e impresión 3D de piezas a medida. Durante su desarrollo se han abordado problemas de diferentes ámbitos de la ingeniería, desde el diseño mecánico, impresión y ensamblado de piezas, pasando por la selección, e integración de componentes hardware y dispositivos electrónicos, diseño y montaje de PCB, propios de los sistemas basados en microprocesador; hasta la selección y uso de los lenguajes de programación adecuados para el diseño del software de control y la implementación del interfaz gráfico de configuración.

En conjunto, el desarrollo de este proyecto ha resultado ser un trabajo completo y adecuado para un TFG de un Graduado en Ingeniería de la Salud en la mención de Ingeniería Biomédica.

Palabras clave:

E-Salud , Teleasistencia, mecanizado 3D, sistemas basados en microprocesador

Abstract

For this dissertation, an automated medicine dose dispenser prototype has been designed and manufactured. The system has a storage facility which stores the daily doses corresponding to each patient/user in an orderly manner, along with the necessary structure and mechanism, controlled by a microcontroller-based system (Raspberry-Pi) which supports and manages the correct and timely administration of the medicine doses programmed for each patient.

The system offers a graphic interface through an SSH connection, whereby the patient's supervisor is able to configure the device, setting the number of users being attended to (up to two in this prototype) and indicating in each case the dose dispensing plan.

The prototype also has a simple user interface (a voice recording and a light signal) which allows the patient to be promptly informed that their dose is ready. After the patient has been identified (using an RFID bracelet specific to each user) and validated by means of a button, the corresponding dose of medication is released.

This project is the result of the integration of electronic technologies (hardware/software) as well as the design and 3D printing of customized parts. Various engineering issues have been addressed during its development, from the mechanical design, printing and assembly of parts through to the selection and integration of hardware components and electronic devices, PCB design and assembly, typical of microprocessor-based systems, as well as to the selection and use of the appropriate programming languages for the design of the control software and the implementation of the configuration graphic interface.

Overall, the development of this project has proved to be a comprehensive and suitable piece of work for a dissertation of Graduate in Health Engineering in the field of Biomedical Engineering.

Keywords:

E-Health, Telecare, 3D machining, systems using microprocessor

Índice

Agradecimientos.....	3
Resumen.....	1
Abstract	2
Índice	3
1.Introducción	5
1.1 Motivación	5
1.2 Objetivos y especificaciones.....	7
1.3 Estructura de la memoria	8
2.Consideraciones, propuesta y metodología.....	9
2.1 Consideraciones del dispositivo	9
2.1.1 Consideraciones generales diseño y modelado.....	9
2.1.2 Consideraciones hardware	10
2.2.3 Consideraciones software	10
2.2 Propuesta	10
Elementos de Entrada:.....	12
Elementos de Salida:	12
Elementos de Entrada Salida (E/S):	15
2.3 Metodología.....	17
3.Implementación.....	18
3.1 Diseño mecánico	18
3.1.1 Partes Impresas	20
3.1.2 Partes No Impresas	27
3.2 Diseño hardware	29
3.3 Diseño software	33
3.3.1 Software de configuración	33
3.3.2 Software de control	35
3.4 Integración de sistemas.....	35
3.5 Presupuesto	37
Conclusiones.....	38
Líneas futuras	40
Referencias	41
Manual de réplica	42
Manual uso	43
Índice de ilustraciones	47

1

Introducción

En este apartado se hablará de la idea, de cómo surgió. Es quizás el apartado más personal del trabajo y que viene a detallar la motivación y cómo una idea ha sido plasmada en un dispositivo tangible usando el conocimiento adquirido durante la formación del grado. Además se detallan los objetivos y se describe la estructura que tendrá este documento.

1.1 Motivación

Durante el año 2017 mis abuelos estuvieron una temporada viviendo en casa de mis padres, en la isla de Tenerife, por motivos de salud. Su residencia habitual era en la isla de La Gomera. A pesar de presentar una mejoría considerable, ocasionada por una mejor alimentación y una toma adecuada de sus medicamentos. Preferían volver a su hogar, en su isla.

Por cuestiones de desarrollo la isla de La Gomera cuenta con unos servicios limitados, y como consecuencia de esto

el médico solo podía visitarlos una vez a la semana. Lo que junto a su avanzada edad y la artritis de sus manos, impedía que se tomaran sus medicaciones en el horario que les correspondía, llegando inclusive a no tomarlas.

Desafortunadamente ambos fallecieron a mediados de 2018, al recibir de nuevo una recaída. Fue en ese momento donde se me ocurrió que a pesar de no haber podido ayudar a mis abuelos, son muchas las personas que por dificultades tanto físicas como psíquicas. No se toman la medicación como se debe. Y si bien es cierto que es muy importante el diagnóstico y la receta del medicamento, es igual de importante tomarlo en el momento que el médico/ca ha prescrito. Fue ahí donde decidí realizar este diseño e intentar que las personas no enfermen, por una toma inadecuada de medicación, automatizando el proceso.

Una vez planteado el problema y planteada una propuesta busqué si existía algún dispositivo que se asemejara a lo que yo buscaba y encontré lo siguiente.



Ilustración 1: Dispensador automatizado Pillo. Fuente: <https://the-gadgeteer.com/2019/01/02/pillo-is-your-personal-pharmacist-robot/>

Pillo es un dispositivo con una interfaz muy amigable, que dosifica los medicamentos según la preinscripción médica. Es capaz de dosificar hasta 28 dosis con una capacidad por dosificación de máximo dos pastillas. Cada aparato es personal, ya que no distingue entre usuarios, y tiene un coste de 499 USD, pero además de pagar esa cantidad debes pagar mensualmente una suscripción de 39.99 USD para la introducción de datos en su sistema. (Strietelmeier, 2020)

1.2 Objetivos y especificaciones

El objetivo más importante es conseguir diseñar un dispositivo que sustituya los pastilleros tradicionales y reduzca los costes de la alternativa en el mercado, automatizando el proceso de tomas diarias. Minimizando el riesgo de ingestas irregulares o inadecuadas de medicamentos. Permitiendo potenciar y complementar el diagnóstico del médico/ca.

El prototipo debe ser capaz de distinguir entre uno o varios pacientes, y facilitar la dosis cuando se identifique. El contenedor de medicamentos debe tener el mayor número de dosis posibles. Además de estar compuesto por elementos mecánicos que doten de movilidad y sustento al sistema y trabajando en sincronía, usando el menor número de motores. Presentando la cualidad de auto-calibrado para minimizar los riesgos de toma incorrecta.

Todo el mecanismo estará controlado por un microprocesador o microcontrolador que unificará todos los datos y acciones que deberán ejecutarse. Deberá presentar una interfaz amigable y simple para el usuario, viendo como objetivo de este dispositivo a personas de avanzada edad. Y un interfaz para la introducción de los datos de cada paciente, como los identificadores y las horas de toma.

Cabe destacar que este trabajo comprendido como proyecto de fin de grado, tiene como objetivo la culminación de las capacidades en distintas áreas del grado de Ingeniería de la Salud. La parte de diseño de las piezas 3D, la programación, la selección de los componentes óptimos para el desarrollo del dispositivo, el mecanizado, el diseño de circuitos electrónicos. Como competencias externas al Grado, uso de software de impresión 3D, dominio de técnicas avanzadas de impresión 3D y soldadura de PCB. Si bien es cierto que no todo el conocimiento ha sido obtenido directamente gracias la Universidad de Málaga, si ha dotado de madurez para poder seguir adquiriendo nuevas capacidades.

1.3 Estructura de la memoria

En el apartado dos se exponen las consideraciones propuestas y metodología utilizada empleada en el desarrollo del prototipo. Acotando las limitaciones que tendrá el dispositivo y las cualidades que deberá cumplir como proceso de desarrollo a grandes rasgos.

El apartado 3 trata sobre la implementación, el modo en el que se desarrollaron las piezas, los software utilizados, los elementos hardware y el coste final que tiene el dispositivo en comparación con la alternativa del mercado. Además de la justificación de la elección de los elementos.

En el apartado conclusiones se resumen los objetivos logrados, las cualidades aprendidas y se justifica la relevancia de este trabajo como proyecto de fin de grado de Ingeniería de la salud con mención en ingeniería biomédica.

Las líneas futuras plantea mejoras por las que puede seguir desarrollándose el prototipo.

2

Consideraciones, propuesta y metodología

Este capítulo resume los requerimientos mínimos del tendrá el dispositivo, y concreta una propuesta para la creación de un primer prototipo, junto a la metodología empleada para su consecución.

2.1 Consideraciones del dispositivo

Una vez planteada la motivación y objetivos, es necesario agrupar las cualidades que debe tener el dispositivo. En este apartado se ha decidido dividir en requerimientos generales, requerimientos hardware y requerimientos software.

2.1.1 Consideraciones generales diseño y modelado

Para facilitar el modelado y la precisión, las piezas de soporte deberán ser impresas usando tecnología de impresión 3D. Además se plantea que el contenedor deberá tener espacio suficiente para dotar al paciente de sus tomas durante varios días. Por último pero no menos importante, presentará un diseño lo más compacto posible, Para facilitar su transporte y colocación en la vivienda de la paciente.

2.1.2 Consideraciones hardware

El hardware busca el equilibrio entre funcionalidad óptima y costes ajustados. El dispositivo será controlado por un microprocesador o microcontrolador. Que almacene el programa y este actúe sobre el resto de elementos del dispensador.

Presenta una interfaz sencilla e intuitiva, minimizando la complejidad para el paciente al interactuar con esta. Además deberá ser capaz de diferenciar entre uno o dos pacientes usando algún sensor que identifique al paciente que debe realizar la toma.

Las partes mecánicas del dispositivo serán movidas por motores. Debe presentar algún elemento que evite posibles errores ocasionados por un salto de pasos del motor.

2.2.3 Consideraciones software

Debe ser programado en un lenguaje que permita su fácil comprensión. Que el código sea reutilizable y que no consuma excesivos recursos del sistema. Además del uso de distintos software de diseño e impresión 3D

2.2 Propuesta

El prototipo consiste en un plato giratorio que contiene las dosis, que debe tomar un paciente en un momento determinado. Como se muestra a continuación el círculo es el plato que tiene movilidad 360º, y la compuerta que permite la salida de la dosis tiene desplazamiento arriba y abajo.

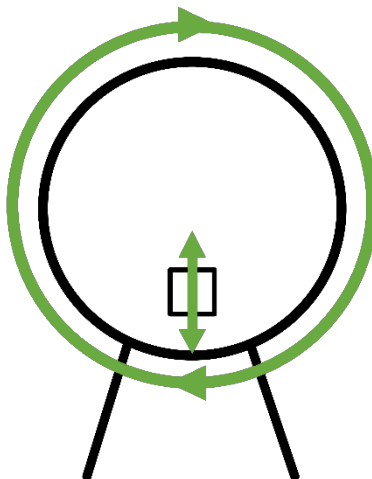


Ilustración 2: Diagrama simplificado de la propuesta

El funcionamiento del prototipo se simplifica a grandes rasgos en el siguiente esquema.



Ilustración 3: Esquema simplificado prototipo

El prototipo se resume, en

La parte estructural será impresa en 3D usando material PLA (ácido-poliláctico), debido a sus cualidades estructurales. Y la pulsera que deberá llevar el paciente será impresa usando un material flexible para que se adapte mejor a la muñeca.

Tras plantear los requisitos, se han identificado cada una de las necesidades y se ha creado el siguiente diagrama de bloques:



Ilustración 4: Diagrama de bloques del dispensador automatizado

El microprocesador que se escoge para este dispositivo la Raspberry Pi, en un primer momento se plantea la alternativa del microcontrolador Arduino, pero es descartada debido a sus limitaciones para el desarrollo futuro del prototipo. Presentando grandes ventajas la Raspberry, ya que de serie tiene puertos USB, conexión ethernet, salida y entrada de audio, una mayor capacidad de procesamiento y permite programar en lenguaje Python.

El dispositivo consta de 3 bloques principales caracterizados por su relación con el controlador principal. Estos bloques son: elementos de entrada, elementos de salida y elementos de entrada salida.

A continuación profundizaremos en cada uno de estos bloques.

Elementos de Entrada:

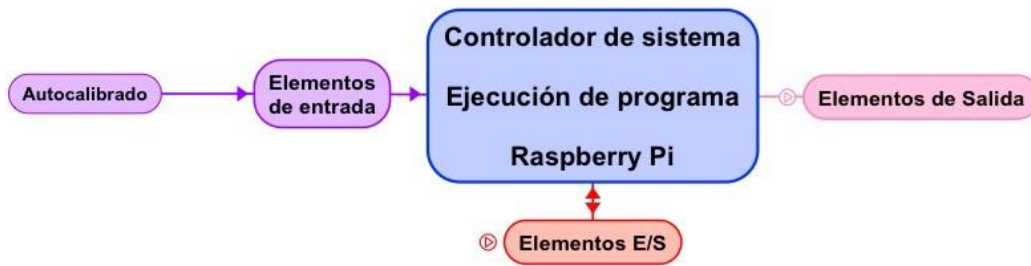


Ilustración 5: Diagrama de bloques extendido, elementos de entrada

El único elemento de entrada que presenta el dispositivo es el sensor de auto-calibrado. Se decidió colocar dicho sensor para conocer en cada momento la ubicación exacta del depósito durante el giro. Se encuentra colocado estratégicamente para que en cierto momento del giro, en el pocillo "origen", envíe una señal al sistema. A continuación se muestra una imagen donde se puede observar la pieza mecánica pulsando el sensor.

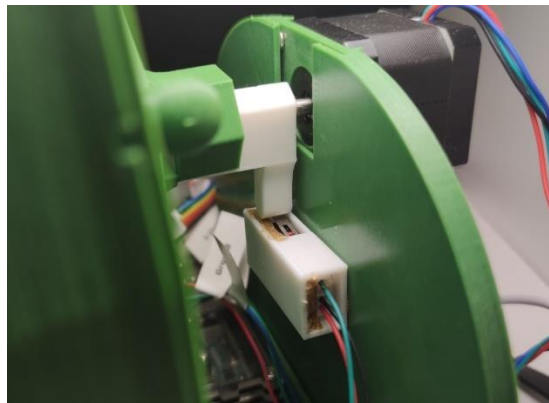


Ilustración 6: Pieza mecánica (blanca) pulsando el sensor.

Elementos de Salida:

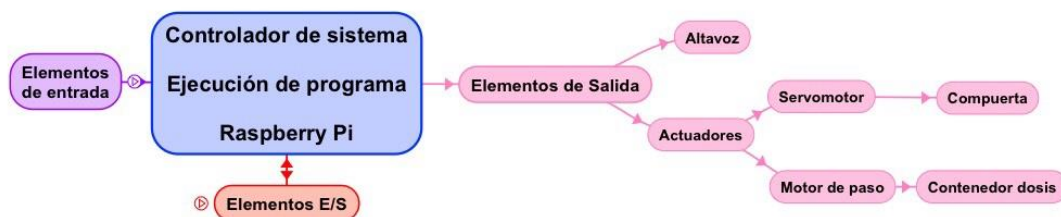


Ilustración 7: Diagrama de bloques extendido, elementos de salida

Los elementos de salida se subdividen en 2 actuadores y altavoz. Los actuadores son los dos motores que producen movimiento al dispensador. A continuación se profundizará en cada uno de estos tres elementos y se justificará su elección con respecto a otros.

Servomotor:



Ilustración 8: Servomotor MG90S adherido con cola caliente al engranaje del servomotor.

El servomotor dota de movimiento a la compuerta para facilitar la salida de la dosis. Esta compuerta tiene tres posiciones posibles. Posición central, que es la posición durante el reposo y evita la salida de dosis. Posición proximal, en esta posición el servo se mueve para arriba, permitiendo salir a las dosis de proximales al eje de giro del motor de paso. Y por último la posición distal, en esta posición el servo se mueve abajo y permite la salida de la dosis distal al eje de giro del motor de paso.

En un primer momento como medida de ajuste de presupuesto se pensó en colocar un motor modelo (SG90) con engranaje de plástico.

Pero tras realizar varias pruebas y debido a la fricción que generaban las piezas impresas durante el movimiento se descartó, puesto que producía desgaste en el engranaje del servo y como consecuencia una actuación inadecuada. Finalmente se seleccionó el servo (MG90S) que presenta engranajes metálicos dotando de mayor fuerza al movimiento y garantizando un funcionamiento óptimo del dispositivo.

Motor de paso:

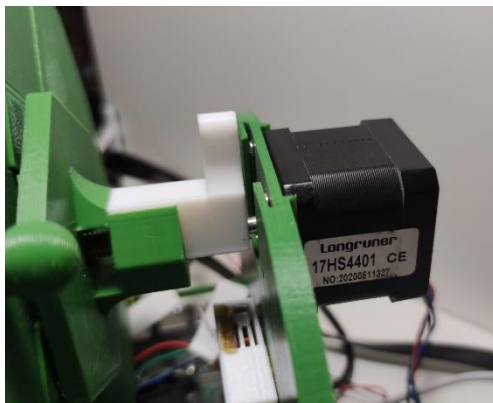


Ilustración 9: Motor de paso colocado en el dispensador

El motor de paso tiene como función el giro del plato. Antes de realizar cualquier movimiento este ejecuta un código para auto-calibrarse. En este proceso de calibrado el motor realiza un giro hasta que se presiona el pulsador, como se muestra en la ilustración 6. Es una de las piezas del dispensador con un coste más elevado. Se intentó seleccionar motores con un coste menor, pero estos no producían la suficiente fuerza para girar el plato. Lo que ocasionaba el incorrecto funcionamiento del dispensador ya que se saltaba pasos de giro. Fue entonces cuando tras ver funcionando las impresoras 3D, encargadas de realizar la estructura del

dispensador. Se tomó la decisión de colocar uno destinado a esta función. Y así queda asegurado su óptimo funcionamiento a largo plazo.

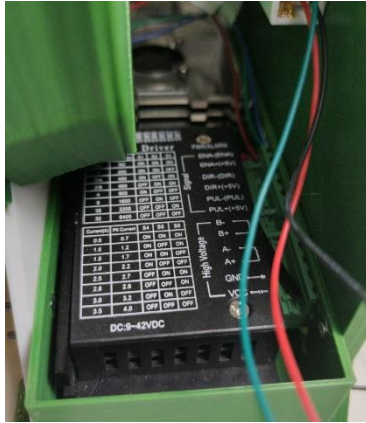


Ilustración 10: Driver del motor de paso

Cabe mencionar que este motor de paso es controlado por un driver que va alimentado externamente por una fuente entre 9 V y 42 V. Como la Raspberry Pi solo proporciona 5 V como máximo, es necesario la alimentación externa. En este caso y por motivos económicos se ha decidido utilizar una fuente de alimentación variable. Ya que es un prototipo y en líneas futuras se le podrán añadir distintos actuadores que requieran de un voltaje específico.

Altavoz:



Ilustración 11: Conexión Jack 3,5mm

El altavoz tiene como función la ejecución de una alarma acústica: En un primer momento se pensó colocar un zumbador que emitiera un sonido a una determinada frecuencia y que según el código de esta frecuencia facilitara la identificación del paciente que debe tomar la medicación. Pero pensando en uno de los usuarios para el que se está diseñando este dispositivo, personas de avanzada edad y que no están familiarizadas con la tecnología. Y a modo de simplificar la identificación por parte del usuario, se decidió grabar un pequeño clip de voz nombrando al paciente 1 o al paciente 2 y fue entonces cuando se descartó el zumbador y se procedió a seleccionar un altavoz, que puede ser conectado por Jack de 3.5mm o por bluetooth, ya que la Raspberry Pi presenta ambas conexiones.



Ilustración 12: Altavoz JBL GO2+ Utilizado en el prototipado.

Elementos de Entrada Salida (E/S):

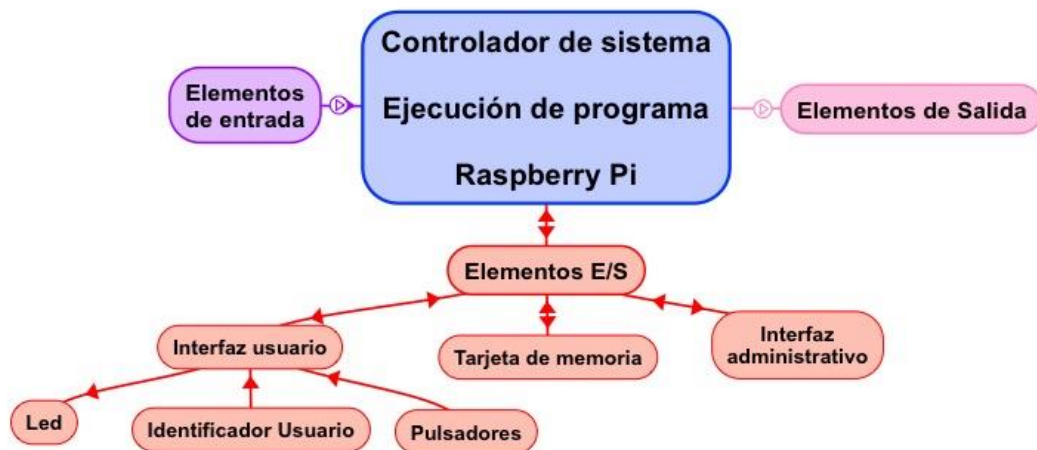


Ilustración 13: Diagrama de bloques extendido, dispositivos de E/S

Los elementos de entrada salida son conjuntos de subelementos, que se agrupan por su ubicación o función. En este caso son: el interfaz de usuario, la tarjeta de memoria y el interfaz administrativo.

Se comenzará a detallar cada uno de estos conjuntos y justificar su elección.

Interfaz de usuario:

El interfaz de usuario es un conjunto de elementos agrupados en una pieza impresa con la cual el usuario interactuará, con el fin de recibir su dosis. A continuación se muestra dicha interfaz.

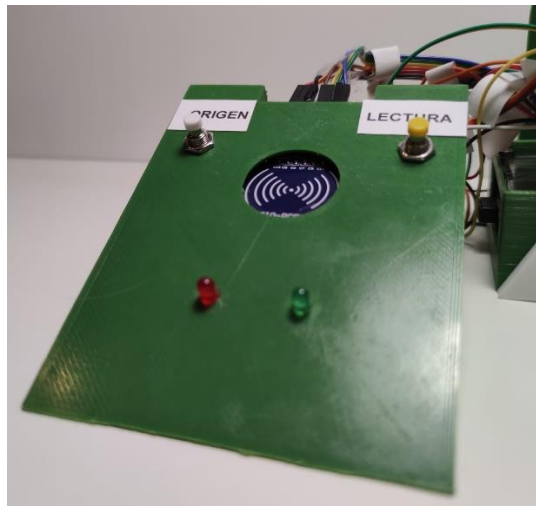


Ilustración 14: Conjunto Interfaz Usuario

El interfaz es simple, con el fin de no hacer complejo el manejo del dispositivo. Es por eso que se recurre a sistemas mecánicos y lumínicos sencillos como pulsadores y leds, los cuales se detallan en futuros apartados.

El interfaz de usuario se tiene dos pulsadores. Tal y como se observa en la ilustración 14, el pulsador blanco tiene como función la colocación del dispositivo en el origen. Esto se decidió debido a que cuando cargamos el plato de medicación es óptimo que esta se coloque en la posición "origen". Así se minimiza el tiempo de dosis de la primera toma. Y además corrige posibles errores si el dispositivo en algún momento se salta pasos durante el giro. El pulsador amarillo debe ser pulsado para que el dispositivo pase a modo lectura y cuando se le acerque el identificador RFID pueda comprobar si es el usuario correcto.

El identificador es un RFID RC522. Se decidió utilizar este sensor desde el principio por su coste bajo. Se integró dejando un orificio para facilitar que cuando se acerque el identificador la lectura sea adecuada. Y por último consta de dos leds uno rojo y otro verde que permite una identificación del usuario visual. Una vez anunciada la señal acústica comenzará a parpadear el led verde si es el paciente 1 el que debe tomar la medicación, el led rojo si es el paciente 2 y el led verde y rojo si solo hay un paciente.

Interfaz administrativo:

El interfaz administrativo engloba a los medios de introducción de información sobre las tomas del paciente que debe hacer un facultativo, o persona cualificada.

PACIENTE 1		PACIENTE 2	
Nombre1:	<input type="text"/>	Nombre2:	<input type="text"/>
Apellido1:	<input type="text"/>	Apellido2:	<input type="text"/>
Codigo1:	<input type="text"/>	Codigo2:	<input type="text"/>
Tomas (MAX 3):	<input type="text"/>	Tomas (MAX 3):	<input type="text"/>
Hora1(HH:MM):	<input type="text"/>	Hora1(HH:MM):	<input type="text"/>
Hora2(HH:MM):	<input type="text"/>	Hora2(HH:MM):	<input type="text"/>
Hora3(HH:MM):	<input type="text"/>	Hora3(HH:MM):	<input type="text"/>
<input type="button" value="Leer P1"/>		<input type="button" value="Leer P2"/>	
<input type="button" value="GUARDAR"/> <input type="button" value="LIMPIAR"/>			

Ilustración 15: Interfaz administrativo

El interfaz administrativo se podrá controlar de manera remota, conectando un PC externo a la Raspberry usando el software VNC Viewer, o de manera física conectando un monitor a la salida HDMI y periféricos a las correspondientes salidas USB.

Tarjeta de memoria

La tarjeta de memoria microSD almacenará el sistema operativo Raspbian junto a las librerías necesarias para ejecutar el programa codificado en Python. Además almacenará los datos del paciente en un archivo TXT con el fin de que si se vuelve a

rellenar el dispositivo y el paciente debe tomar las mismas dosis no sea necesario la instrucción de los datos nuevamente.

2.3 Metodología



Ilustración 16: Metodología Cíclica seguida en el desarrollo

La metodología que se ha implementado en el desarrollo del dispositivo, ha sido cíclica. Con una primera parte de especificaciones y requisitos del sistema. Donde se plantean de una manera aproximada las competencias finales que deberá tener el dispositivo. A continuación se pasa a un proceso de diseño, donde se plantean formas de alcanzar dichos requisitos, siempre teniendo en cuenta las limitaciones presupuestarias. Luego se prototipa, es este el paso donde se materializa la idea en físico y comienzan el siguiente proceso de evaluación. Donde se someten a diversas pruebas el prototipo y comienzan a aparecer algunos problemas. Algunos de ellos pueden ser solventados en el siguiente paso de refinamiento y otros deben volver a la parte de requisitos, y ya se habría cumplido la primera iteración.

Esta metodología comparte estructura con el desarrollo en espiral (Boehm, 1986) usado en el desarrollo de software con el fin de maximizar la repetibilidad y aprovechar para solventar problemas pasados que por algún motivo no se solucionaron hacerlo en las siguientes iteraciones. Como desventaja presenta que no se sabe la durabilidad del desarrollo del proyecto puesto que puede presentar problemas que desencadenen otros. A pesar de este inconveniente, se decidió usar este método por su repetibilidad iterativa.

3

Implementación

Este capítulo abordará las cuestiones más técnicas del diseño. Concretando cada uno de los especificaciones tomadas y justificando dicha elección.

3.1 Diseño mecánico

Para el diseño mecánico se planteó inicialmente que debía tener una estructura rígida que perpetuara el dispositivo, con el fin de reducir el deterioro y aumentar su vida útil. Se pensó en materiales como madera, conglomerado o algún tipo de derivado de la del mismo. Pero fue rápidamente descartado por la complejidad y la precisión milimétrica que deben tener las partes móviles. Como solución se opta por la tecnología de impresión 3D usando el PLA (ácido-poliláctico), que es un polímero que viene embobinado en rollos de 1 Kilo de peso, a un grosor de 1.75 milímetros. Y que es introducido por un conducto que al final presenta un extrusor, que al calentarse a 200°C cambia el estado del polímero a gelatinoso. Todo este mecanismo junto con unos motores que mueven este extrusor en el espacio, permiten crear capas consecutivas de este material que materializan la pieza diseñada.

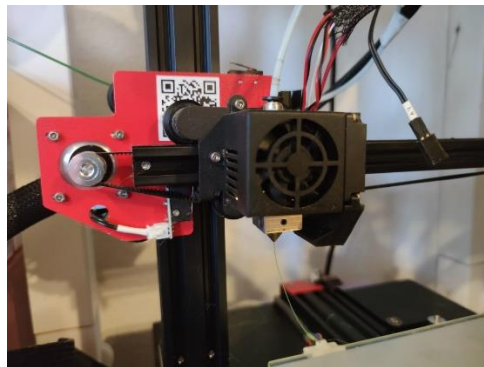


Ilustración 17: Impresora 3D, se puede apreciar el extrusor por el que sale el PLA

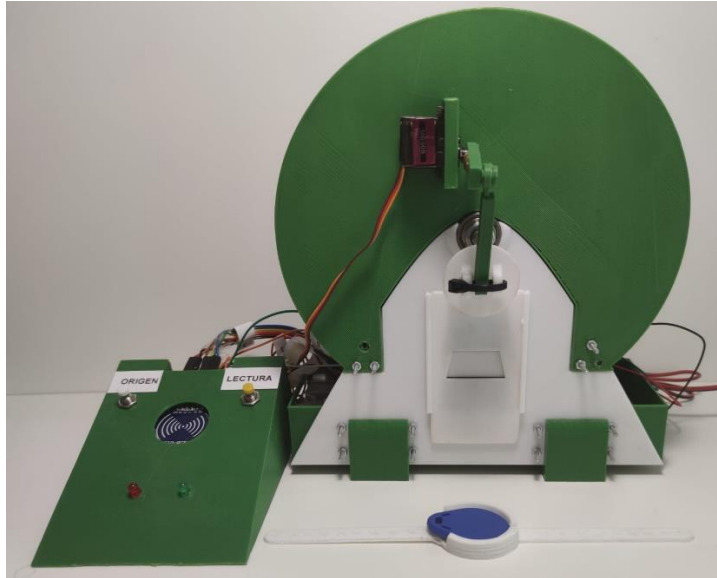


Ilustración 18: Prototipo Final

Para el diseño de las piezas se utilizó el software Autodesk® Fusion 360, debido a su interfaz amigable y sus continuas copias de seguridad automáticas, que permite que tengas siempre tu proyecto salvado. En este programa se efectuaron los croquis acotados a las medidas oportunas. Estos croquis se extruían, y se modificaban hasta llegar a la pieza deseada. Y al final se exportaban en formato OBJ .

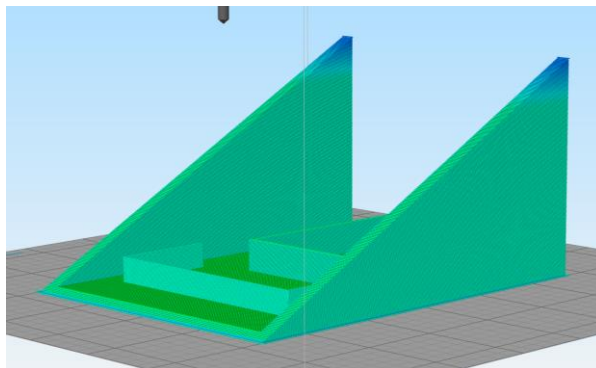


Ilustración 19: Interfaz del software Simplify3D se puede apreciar una pieza dividida en capas que simula el movimiento que hará la impresora.

Una vez se tenían los archivos en formato OBJ se utilizaba un programa, intermediario entre el diseño y la impresora 3D, llamado Simplify3d. Este programa tiene como objetivo vectorizar cada movimiento que debe hacer la impresora y configura la altura de capa, velocidad de impresión, densidad de la pieza, entre muchos otros parámetros. Una vez ajustado los parámetros se exporta el archivo en formato G-Code y se le transmite a la impresora mediante una tarjeta micro SD. Este proceso se ha efectuado con cada una de las piezas que se van a describir a continuación.

3.1.1 Partes Impresas

- **Plato:**

El plato fue la parte del proyecto que sufrió más modificaciones puesto se tenía que hallar el equilibrio entre masificar la cantidad de dosis que podía facilitar y ser lo suficiente ligero para que el motor no tuviera problemas para moverlo.



Ilustración 20 Primera fase del diseño del plato.

En la primera fase del diseño del plato se pensó en hacer los pozos, donde se introducirían las dosis que debería tomar el paciente en un momento determinado, circulares debido a que se imaginó este plato como el tambor de un revolver, y por eso se decidió que cada pozo fuese circular. Esto presentaba multitud de problemáticas. La primera era la optimización del espacio. No estaba aprovechado, porque quedaba espacio libre, que contribuía a la segunda desventaja. Un aumento considerable en la masa del plato que dificultaría una correcta rotación por parte del motor. Y la tercera era que según el diseño inicial planteado, los pozos debían estar alineados uno con otro para que el servo seleccionara que pozo sería el elegido para dosificación. A modo de comprensión se presenta a continuación la ilustración 21 que especifica de una manera muy simplificada el movimiento del prototipo.

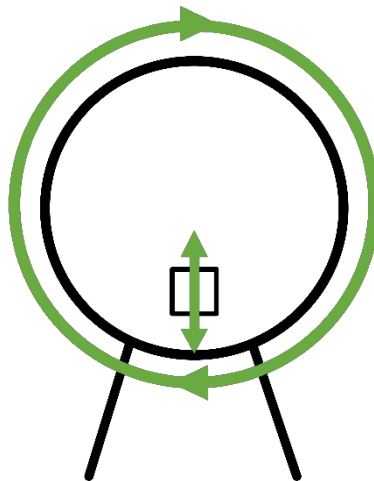


Ilustración 21 Simplificación del movimiento del dispensador

Tras analizar cada una de las desventajas se pasó a una segunda fase de diseño de la pieza donde se realizaron dos cambios significativos. Las divisiones de los pozos ahora eran radiales desde el centro del plato, como se puede comprobar en la ilustración 22. Lo que solucionaba el aprovechamiento de cada espacio y se corregía la

problemática del alineamiento entre los pozos de la subdivisión interna y la externa, simplificando la complejidad de la realización del futuro software.

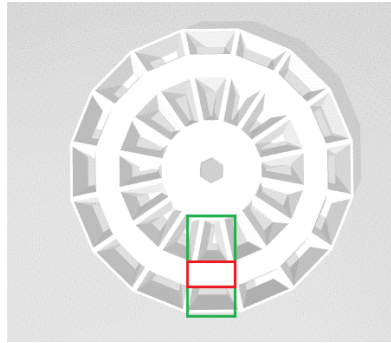


Ilustración 22: Diseño plato avanzado una vez solucionadas ciertas desventajas

Además se planteó la solución al diseño de controlar la compuerta con un solo servomotor. Como se puede apreciar en la ilustración 22 la parte roja equivale al agujero de la compuerta y la parte verde a la parte sólida de la misma. Esta se moverá verticalmente, permitiendo de una manera selectiva decidir qué pozo va a ser abierto y como consecuencia ser expulsadas las dosis. Con este diseño se reduce el presupuesto, puesto que las partes electromotrices se reducen a un servomotor y a un motor de pasos.

Como medida de favorecer la expulsión de la dosis se peraltó el pozo, haciendo el fondo del mismo más pequeño que la superficie. Esto favorece que cuando este colocado en la posición de funcionamiento, la fuerza de la gravedad ayude a la salida de las dosis.

El prototipo final del plato sufrió otras dos modificaciones sustanciales:

- Ensanchamiento del engranaje del eje central, con el fin de permitir un mayor control y mejor integración de las partes.
- Eliminación del fondo del plato con el fin de facilitar el llenado del dispositivo desde atrás lo que incurre en el diseño de las tapas traseras por separado. Y extensión de la superficie trasera para permitir el encaje de las tapas.

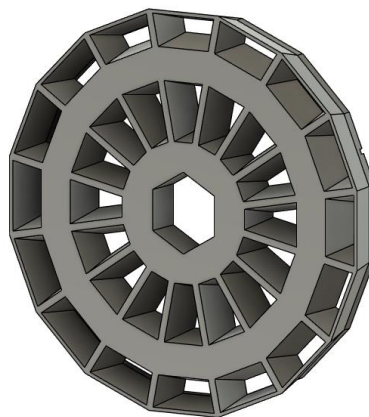


Ilustración 23: Plato final del dispensador automatizado (Planos 1/15)

- **Tapas traseras:**

Esta pieza fue diseñada como consecuencia en el cambio de diseño del plato, debía ser fácil de extraer, pero que no se moviera con la rotación, ya que ocasionaría un posible intercambio de dosis entre distintos pozos.

Fue entonces cuando se decidió generar dos tapas para no tener que sacar el eje principal y que estas encajaran entre ellas, dotándolas de la suficiente rigidez para mantener su posición durante el giro del dispensador. Además presentan unos tiradores los que facilitan su extracción y una hendidura para su correcta colocación.

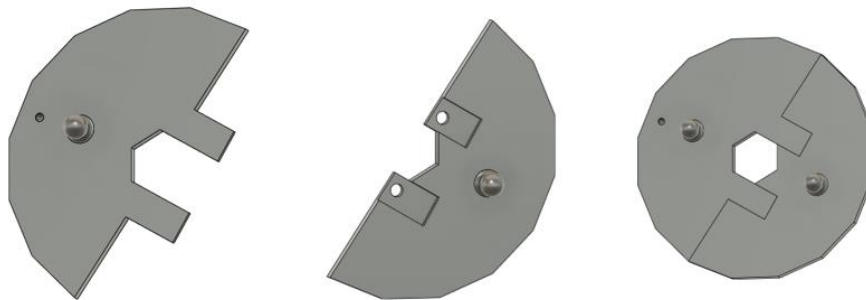


Ilustración 24: Diseño final de tapas traseras. A la izquierda las dos piezas por separado y a la derecha ya ensambladas. (Planos 2/15 y 3/15)

- **Soporte principal:**

El soporte principal tiene como objetivo la integración de las partes, encapsulamiento de la circuitería principal como de la Raspberry. Por cuestiones de Centro de masa se decide desplazar las partes más pesadas del dispositivo lo más abajo posible, para dotar al prototipo de estabilidad.

Esta pieza no sufrió grandes modificaciones pues fue tomada como punto de partida, desde un primer momento se diseñó a modo de caja que integrase la Raspberry Pi, pero que permitiese el acceso a cada uno de los puertos de la misma, y diera cabida al driver del motor de pasos.

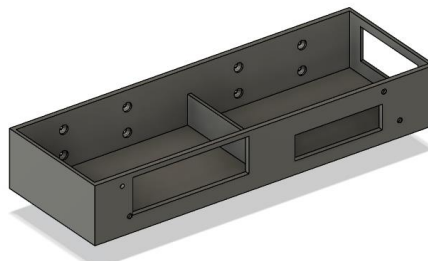


Ilustración 25: Soporte principal (Plano 4/15)

Como se observa en la ilustración 25 presenta dos cubículos diferenciados, en el de la derecha encaja la Raspberry Pi y en la izquierda el driver del motor de pasos que será descrito en el apartado hardware. Además tiene un conjunto de orificios que permiten la fijación, usando tornillería, tanto a la estructura trasera como a la delantera.

- **Estructura trasera:**

La estructura trasera inicialmente pretendía, dar soporte simplemente al motor de paso y al eje que atravesaba al plato. Pero esta simplificación del sistema concurría en una dificultad considerable a la hora de extraer el eje o sustituir el motor de pasos. Fue entonces cuando se optó por una estructura modular, que permitiera el encaje y la extracción del motor de paso y la modificación del eje de una manera sencilla. Presenta orificios cuya función es la fijación y unos huecos que coinciden con la estructura principal, pudiendo así acceder a los puertos de los distintos elementos hardware.

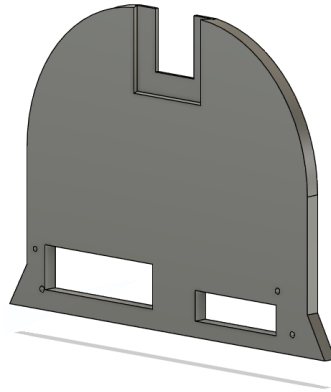


Ilustración 26: Estructura trasera (Plano 5/15)

- **Estructura delantera:**

La estructura delantera complementa a la trasera, conformando un soporte para el eje que atravesaba el plato. Además da sostén a la compuerta que es una parte móvil, y debido a esto debe permitir el deslizamiento de la misma de manera vertical.

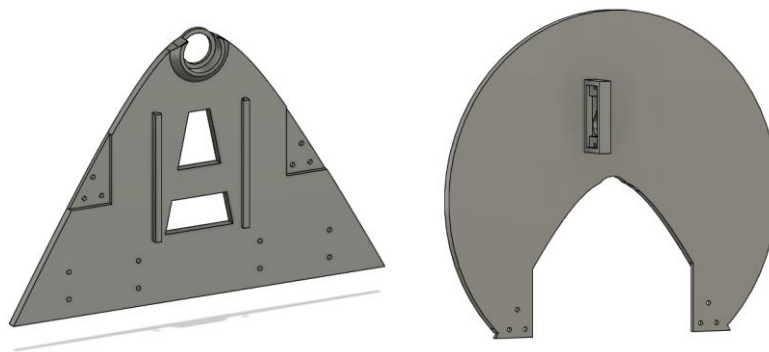


Ilustración 27: Subestructuras delantera (Planos 6/15 y 7/15)

Como se observa en la parte superior tiene una hendidura redonda donde encaja el rodamiento, y esta a su vez disminuye la fricción tras el movimiento del motor. Además esta estructura está conformada por dos subestructuras atornilladas entre sí. La primera de ellas es la que se muestra en la ilustración 27 a la izquierda y la segunda a la derecha.

La segunda subestructura tiene como función evitar la salida indeseada de la medicación, haciendo las veces de tapa. Se realizó de manera modular debido a la superficie de impresión de la impresora 3D, la cual era incapaz de imprimir el conjunto

de una sola vez. Además se añadió un soporte en la segunda subestructura para el servomotor.

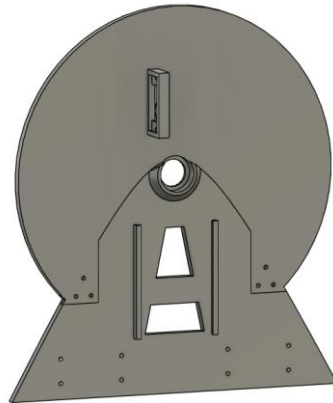


Ilustración 28: Conjunto estructura delantera

- **Enganche motor de paso:**

El enganche del motor de paso, dota al motor de una estructura que le permite ser fijada a la estructura trasera. Se tomaron medidas del motor de paso y se diseñó en base a los requerimientos del dispositivo, para que encajase a la perfección.

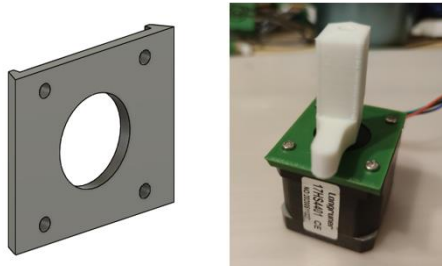


Ilustración 29: Diseño enganche motor de paso a la izquierda y elemento instalado a la derecha. (Plano 8/15)

- **Vástago principal:**

El vástago principal fue otra de las piezas que más modificaciones sufrió, debido al cambio del diseño que tuvo el plato y las limitaciones de fuerza del motor.

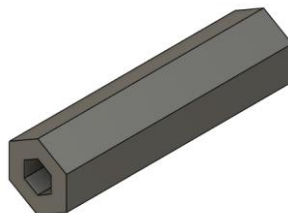


Ilustración 30: Vástago principal descartado.

Inicialmente el vástago era sencillamente un hexágono que atravesaba el plato, como se observa en la ilustración 30. Este tenía multitud de inconvenientes, como que al ser piezas más pequeñas la holgura y el deterioro es mucho mayor, debido a que la fuerza de torsión se centra en una superficie muy pequeña. Además el motor de paso desgastaba la pieza y hacía imposible su correcto funcionamiento. Fue por este motivo por el que se decidió ensanchar el hexágono y dividirlo en dos partes, una parte que va

fijada al motor de paso y otra parte que va introducida y fijada con tuercas, y una barra de metal con rosca.

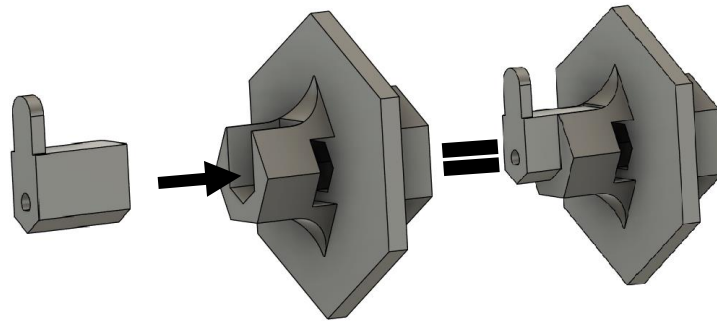


Ilustración 31: Engranaje principal ensamblado a la derecha, subunidad mayor en el centro y subunidad menor a la izquierda. (Planos 9/15 y 10/15)

La modificación obtuvo grandes ventajas:

- Al tener un diseño modular es fácilmente reemplazable.
- El conjunto está diseñado a prueba de holguras.
- Integra las partes impresas y las no impresas del eje.

- **Compuerta:**

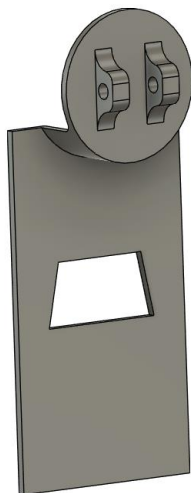


Ilustración 32: Compuerta final
(Plano 11/15)

La compuerta tiene como objetivo la elección de apertura o no de un pozo del plato en concreto. Esta pieza apenas sufrió modificaciones. En la siguiente ilustración se muestra una representación 3D de la compuerta (ilustración 32)

La pieza consta de una lámina con una hendidura y un tirador en la parte alta. Este tirador no se encuentra alineado con la lámina para evitar el roce con el eje principal. Además presenta dos enganches que serán atravesados por una brida para unirla al engranaje del servomotor.

- **Soportes peraltadores:**

Los peraltadores tienen como objetivo realzar todo el conjunto del dispensador, dándole cierto ángulo, para facilitar la salida de la dosis. Además dota al conjunto de cierta altura evitando que durante el deslizamiento perpendicular de la compuerta, esta toque en la superficie y no permita la salida de las dosis.

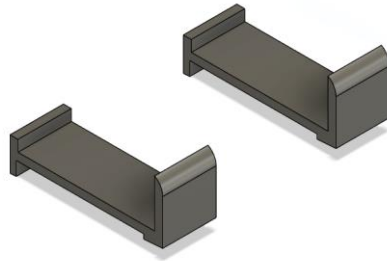


Ilustración 33: Soportes peraltadores (Plano 12/15)

- **Pulsera usuario:**

El diseño de la pulsera se realizó para albergar el identificador RFID de cada usuario y tenerlo siempre localizado, evitando así posibles intercambios entre los pacientes. Se imprimió en un material flexible, ya que el PLA presenta rigidez estructural. Y esa rigidez no permite que se adapte a la muñeca del usuario.

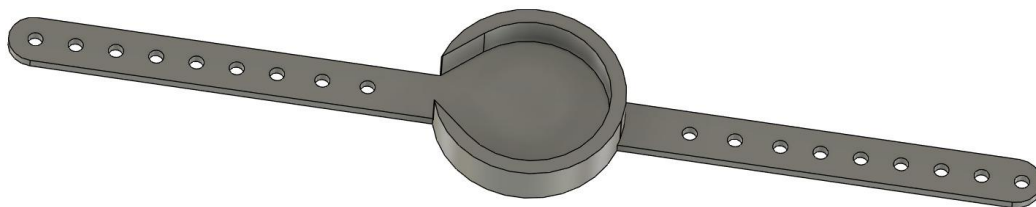


Ilustración 34: Pulsera Usuario (Plano 13/15)

- **Soporte interfaz usuario:**

Como el objetivo principal de la interfaz usuario era que fuese simple, pensando en que los usuarios potenciales de este dispositivo serían personas mayores o con movilidad reducida, se optó por un diseño simplificado en forma de cuña, que tuviera 5 orificios.

- Orificio principal: El orificio más grande que se puede observar en la ilustración 35 albergará el lector RFID, se ha evitado poner cuerpos en medio para facilitar la lectura del dispositivo de identificación
- Orificios superiores: Estos orificios albergarán los dos pulsadores que permitirán controlar el dispositivo.
- Orificios inferiores: Estos dos orificios albergarán los leds identificativos de paciente.
- En la parte trasera se observan unos cuadrados que permitirán la integración de la PCB y del sensor RFID.

Desde un principio se optó por hacer esta parte separada del conjunto principal, para evitar que por pulsar un botón se pudiera ver vulnerada la estabilidad del dispensador automatizado.

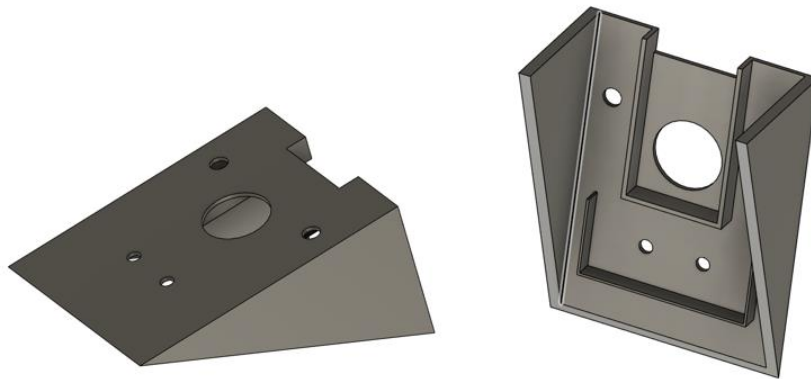


Ilustración 35: Soporte interfaz usuario, perspectiva distinta. (Plano 14/15)

- **Engranajes servomotor:**

El engranaje es la parte mecánica que transmite el movimiento del servomotor a la compuerta. Sobre papel se pensó en diseñar un sistema formado por 2 articulaciones con 1 grado de libertad cada una, pero esto suponía que al servo bajar, no bajara la compuerta, puesto que no aplicaba fuerza suficiente para moverla, esta fuerza se perdía en la articulación que sobraba.

Finalmente el diseño concluyo en la figura que se muestra en la ilustración 36. Formado por 1 articulaciones con 1 grado de libertad cada uno. Lo que permite que cuando se mueva el servo abajo convierta el movimiento circular en movimiento de desplazamiento.

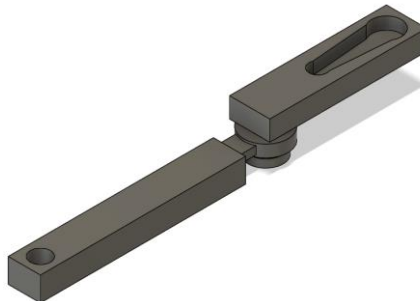


Ilustración 36: Engranaje servomotor (Plano 15/15)

3.1.2 Partes No Impresas

A pesar de intentar que la totalidad de las piezas fueran impresas se tuvo que seleccionar algunas de otros materiales, debido a sus características. Ya que el PLA es un material que tiene una resistencia a la torsión limitada. Así pues con el fin de hacer que la durabilidad del dispositivo aumentara su vida útil se añadieron las siguientes partes no impresas integradas perfectamente con las impresas.



Ilustración 37: Varilla Roscada



Ilustración 38: Rodamiento

- Varilla roscada:

Este eje atraviesa el vástago principal dotándolo de robustez suficiente para ser fijado al rodamiento ubicado en la estructura delantera. M8 y 10 cm de largo.

- Tuercas:

Las 2 tuercas necesarias son para unir el eje con rosca a el vástago principal y la segunda para unir este a la estructura delantera atravesando el rodamiento. M8.

- Tornillos:

22 tornillos de métrica 3 para fijar las partes con sus correspondientes arandelas

- Rodamiento:

El rodamiento es esencial para el correcto funcionamiento del dispensador, puesto que minimiza las fuerzas de rozamiento, en el giro de la varilla roscada

- Brida:

La brida tiene como función la fijación de la parte inferior del engranaje del servomotor con la compuerta.

- Silicona caliente:

Adhesivo utilizado para fijar la PCB al soporte interfaz usuario y el servomotor a su engranaje.

3.2 Diseño hardware

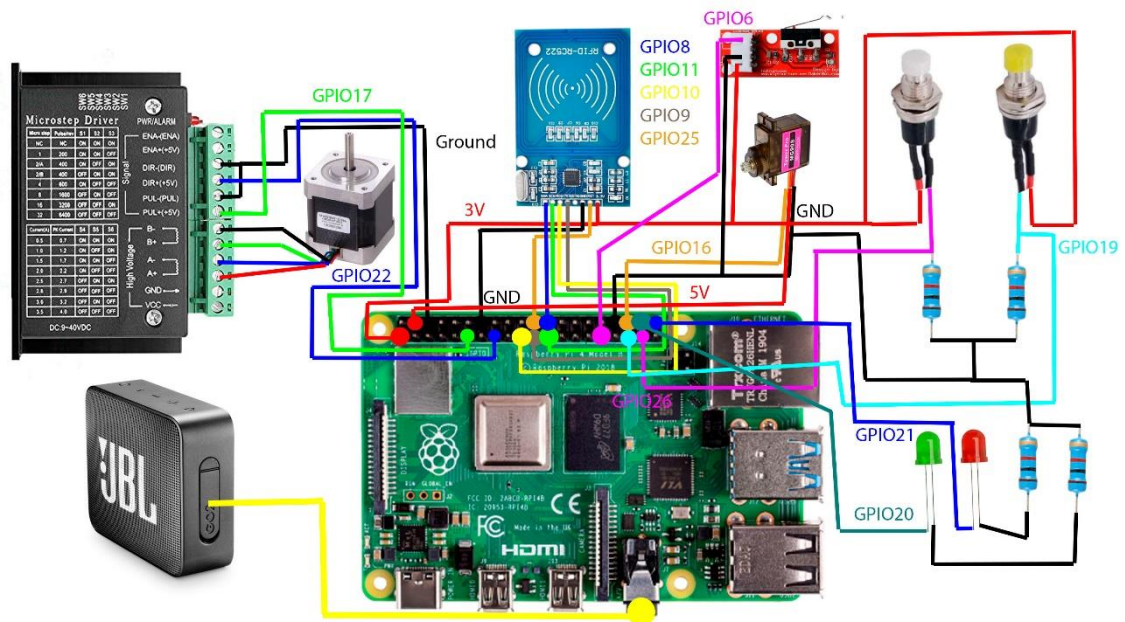


Ilustración 39: Diagrama de conexiones

En el diseño hardware se tuvo como premisa el abaratamiento de los costes, fue por ese motivo por el que se diseñó un sistema con el mínimo de componentes. A continuación se detallaran cada uno de esos elementos y la justificación del motivo de la elección.

- Microprocesador/Microcontrolador:



Ilustración 40: Raspberry pi 4. Imagen obtenida de la página oficial de Raspberry.

URL:<https://www.raspberrypi.org/>

Desde un principio se planteó la solución de hacerlo con Arduino, un motivo en particular. Es un sistema con un coste inferior al de la Raspberry Pi. Pero fue descartado por la versatilidad que aporta la Raspberry Pi y la posibilidad de permitirte programar en un lenguaje de programación orientado a objetos, como es el caso de Python.

Además otro de los motivos por el que la decisión se decantó por microprocesador Raspberry Pi fue la multitud de puertos que esta presenta, como se puede comprobar en la ilustración 40. Esto permitirá que si el proyecto crece, no habrá una limitación por parte del microprocesador para añadir más sensores, actuadores o periféricos.

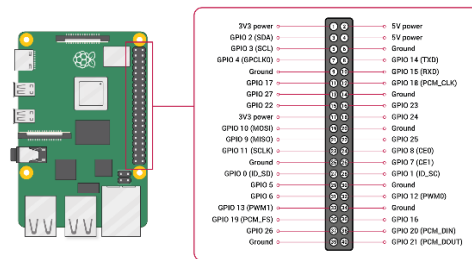


Ilustración 41: Diagrama de pines de conexión de la Raspberry Pi 4. Fuente: <https://www.hwlibre.com/gpio-raspberry-pi/>

- RFID RC522



El RFID es un sistema de identificación por radiofrecuencia, cuyo coste es muy ajustado. lo que permite identificar inequívocamente al paciente. En un primer momento se planteó la lectura de código de barras pero el lector tiene un coste más elevado y el RFID simplemente debe acercarse el identificativo al receptor independientemente de la orientación.



- Servomotor

El servomotor utilizado en el prototipo es el MG90S que tiene un par de torsión de 2.2 Kilos. Existen otros modelos que tienen menor par, y un menor precio, pero a modo de asegurar el funcionamiento y que la compuerta se abrirá de una manera adecuada se descartó este último.



- Motor de paso + Driver

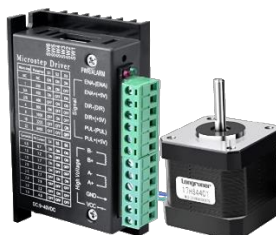


Ilustración 45: Longrunner B07FKJ1H9. Driver a la izquierda y motor de paso a la derecha.

En fases tempranas del proyecto se testearon con algunos motores de paso sencillos y de un muy bajo coste, pero debido a la fuerza que debía ejercer para girar el plato y el momento resistivo que este producía en la superficie delantera. Fue descartado. Fue entonces cuando se integró este kit de Driver más motor de paso que aunque en un principio se pensaba que iba a tener más fuerza de la necesaria, en testeos de esfuerzo se ha comprobado que es justo lo que se necesitaba, algo más pequeño no hubiera sido capaz de mover el plato.

- PCB y pulsadores

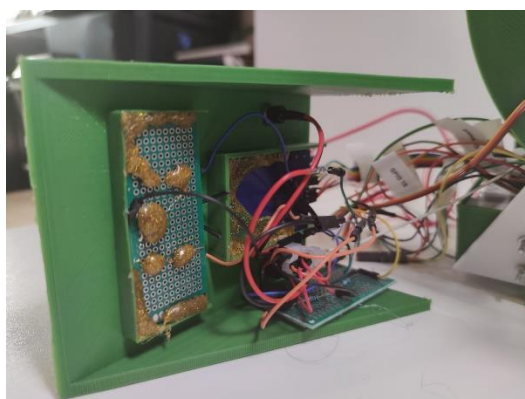


Ilustración 46: PCB adherida a la interfaz de usuario usando silicona

Esta parte del diseño hardware está formada por la PCB y los distintos componentes electrónicos soldados a ella. A continuación se muestra un esquemático que representa dichas conexiones.

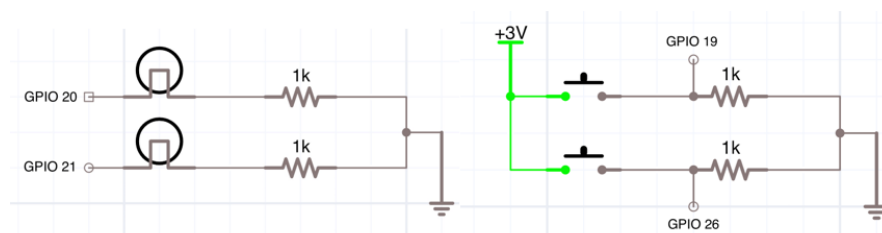


Ilustración 47: Diagrama de conexiones PCB

Primero se diseñó el esquema para posteriormente soldarlo en la PCB usando un cautín a 200°C y usando Plomo/Estaño 60/40. Los pulsadores tienen función de entrada y los LEDs tienen función de notificación visual.

- Pulsador final de carrera



Ilustración 48: Final de carrera

El final de carrera tiene la función de auto-calibrado. Esta se fija en la parte interna de la estructura trasera usando cola caliente. Cuando el plato vaya girando la subunidad menor del vástago principal presiona el botón y para de girar. En ese punto el plato se encuentra en la ubicación inicial.

- Altavoz genérico con conexión Jack 3.5

Para las notificaciones acústicas se usará un altavoz genérico conectado a la Raspberry por el puerto Jack de 3.5.

3.3 Diseño software

El diseño software se realiza usando el lenguaje de programación Python por varios motivos:

- Código libre
- Desarrollo amigable
- Multitud de librerías
- Código reutilizable
- Permite realizar programación orientada a objetos.

El software que controla el dispositivo consta de dos programas, uno para añadir a los pacientes y otro para controlar el dispositivo. Se decidió realizar dos programas separados para asegurar que el usuario paciente no modificara por error los datos del paciente, llevando esto a un funcionamiento incorrecto del mismo.

3.3.1 Software de configuración

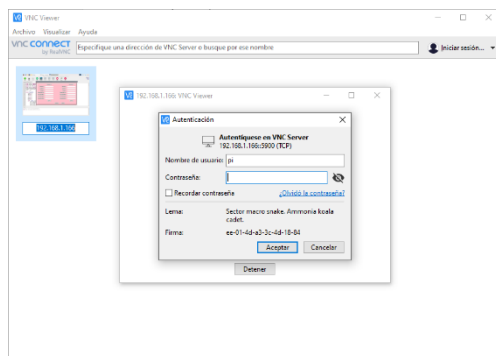


Ilustración 49: Conexión remota usando VNC Viewer

Consta de una interfaz gráfica usando la librería Tkinter de Python. Esta nos permite mostrar por pantalla distintos elementos e interactuar con ellos escribiendo datos y utilizando los botones para realizar distintas acciones. La conexión se puede hacer tanto usando un software llamado VNC Viewer remotamente el cual usa un protocolo SSH cifrado, como físicamente usando periféricos. Un ratón, teclado y una pantalla. Conectados a USB y al HDMI.

A screenshot of a graphical user interface titled 'Dispensador Automatizado'. It features two columns for 'PACIENTE 1' and 'PACIENTE 2'. Each column contains input fields for 'Nombre', 'Apellido', 'Codigo', 'Tomas (MAX 3)', and three 'Hora' fields (HH:MM). At the bottom of each column are 'Leer P1' and 'Leer P2' buttons. Centered at the bottom are 'GUARDAR' and 'LIMPIAR' buttons.

Ilustración 50: Ventana añadir paciente

El programa es capaz de permitir dos tipos de inserciones de datos. Para un paciente o para dos. En el primer caso bastaría con rellenar los datos de la columna "paciente 1". Y si fuesen dos los pacientes se deberá rellenar todos los datos a excepción de algunas horas si las tomas diarias del paciente fuesen menores a 3. A la hora de introducir los datos el sistema es capaz de detectar posibles errores, como que el código del paciente sea distinto para cada paciente o que el número de tomas diarias debe coincidir con los espacios de horas rellenos para cada paciente.

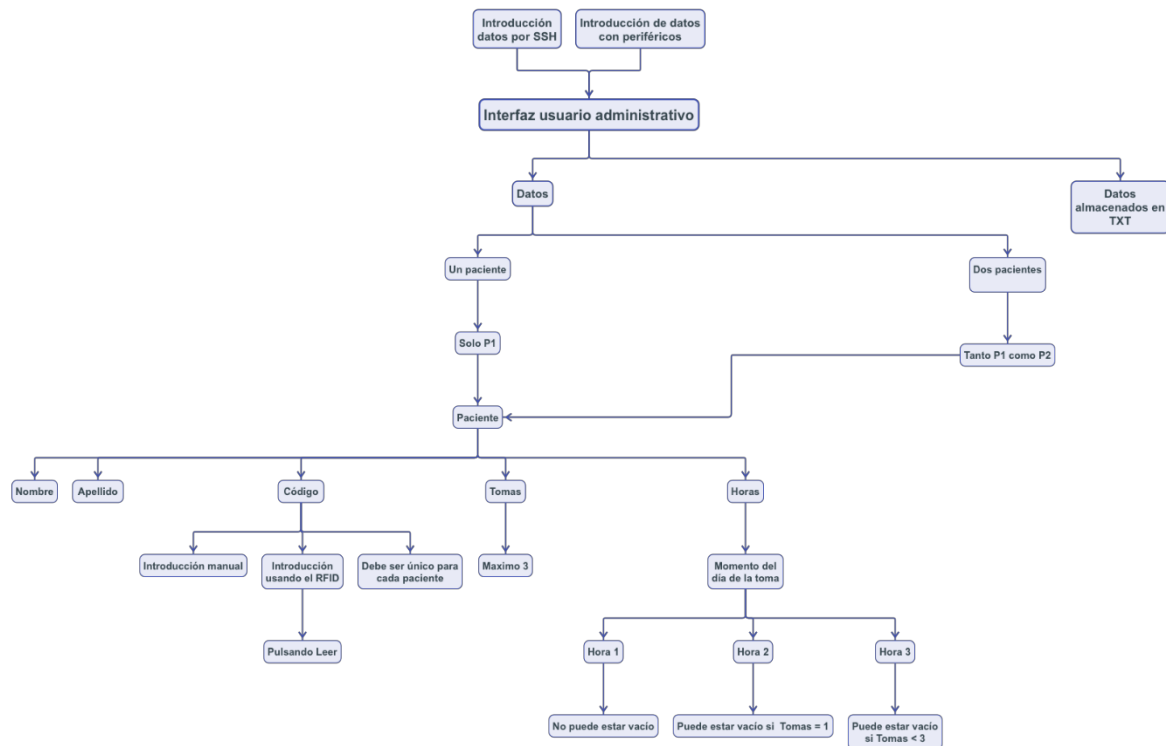


Ilustración 51: Diagrama de funcionamiento añadirpaciente.py

3.3.2 Software de control

El software control se encarga de leer los datos del archivo txt creado, por el programa añadir paciente. Y una vez verifica que todos estén correctos comienza a funcionar. A continuación se detalla el diagrama de funcionamiento. Se detalla el funcionamiento en la integración de sistemas.

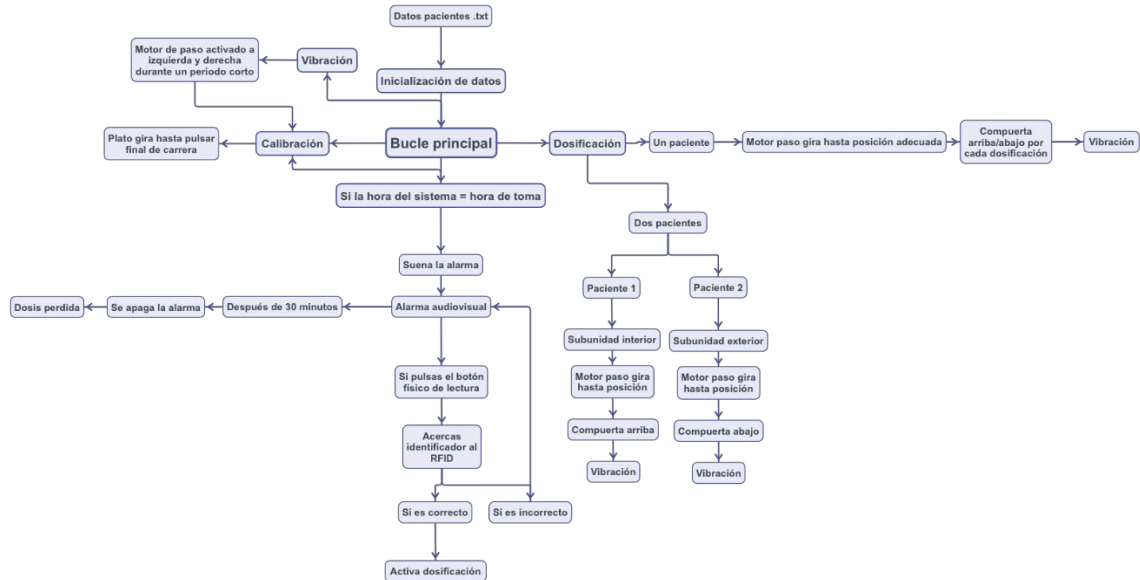


Ilustración 52:Diagrama software control

A grandes rasgos el software funciona de la siguiente manera, Se divide en dos. Si hay dos pacientes o si hay solo uno.

Si hay dos pacientes creados listas "pozo" cuya longitud es de 16. Al paciente 1 se le asignarán los valores impares, comenzando en 1 y terminando en 31. Y al paciente dos se le asignarán los pares, comenzando en 2 y acabando en 32. El motivo por el que se asigna de esta manera es porque los pares representan el aro exterior del contenedor y los impares el aro interno. Esto facilita mucho los cálculos para que la Raspberry determine donde esta cada dosis. Además leerá los datos del archivo txt y los almacena.

En el caso de un paciente se crea una lista de manera ascendente de 1 a 32 y del mismo modo que el caso anterior almacena los datos y usa esta información justo con la hora del sistema para determinar el momento en el que debe sonar la alarma para que el paciente reciba su medicación.

3.4 Integración de sistemas

A continuación se describe la integración del sistema y a detalla el funcionamiento del prototipo, para su posterior validación mediante diferentes pruebas.

Suponiendo que el sistema este cargado de dosis, proceso que se detalla en el manual de uso. Ensamblado siguiendo el proceso de diseño mecánico, conectado tal y como se muestra en la Ilustración 39 y cargados los ficheros en el SO Raspbian. Se le ha

puesto un número de tomas 3 tomas máximas por día a cada paciente, se detalla el proceso en el manual de uso. Tendrá una autonomía máxima de 32 días para un paciente y una autonomía mínima de 5 días para dos pacientes.

Los elementos mecánicos han sido testeados durante 12 horas consecutivas, buscando el fallo de alguna de sus partes. Siendo los resultados de todas ellas favorables. Cabe mencionar que el dispositivo en ningún caso será sometido a tanto estrés. Puesto que los movimientos mecánicos, como máximo, se realizarán 6 veces en un día. Validando el prototipo a nivel de hardware y a nivel de material de impresión.

Además se ha optimizado el código para reducir la carga del procesador del microcontrolador. Pudiendo aun así en líneas futuras simplificar aún más dicha complejidad.

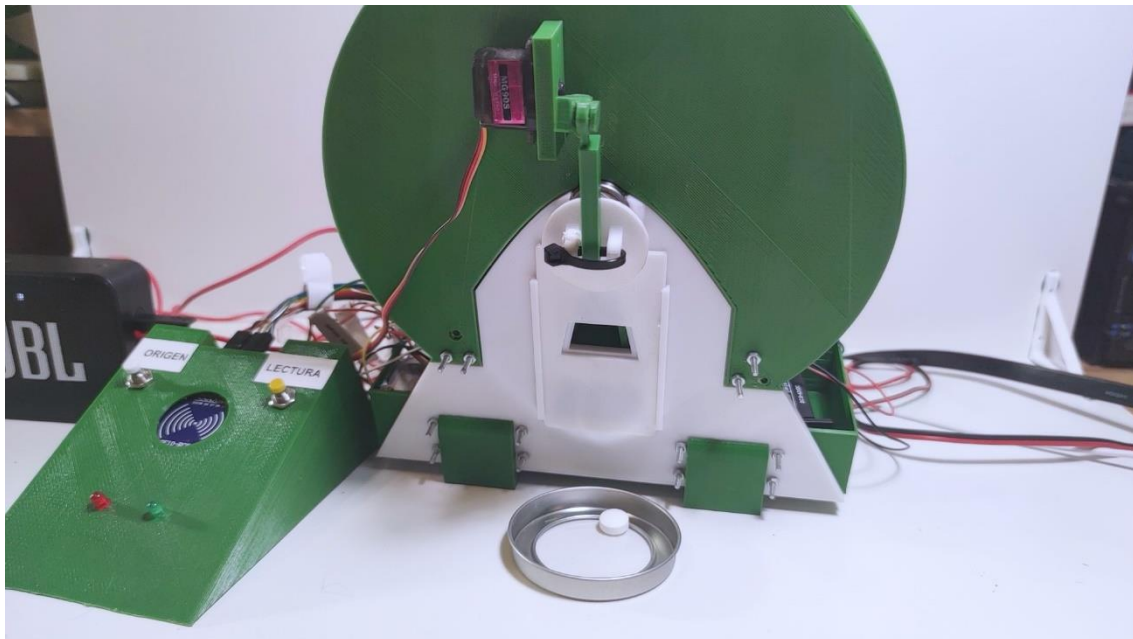


Ilustración 53: Fotograma de video explicativo, donde se puede observar la compuerta abierta y como ha salido la medicación

3.5 Presupuesto

Descripción	Precio/ud	Cantidad	Precio total
Raspberry Pi 4	35€	1	35€
Motor paso + driver	21€	1	21€
Pulsador de presión	1.20€	2	2.40€
Final de carrera	2€	1	2€
Led	0.06€	2	0.12€
Resistor 1KOhm	0.01€	4	0.04€
PCB	0.60€	1	0.60€
RFID con identificadores	6.99€	1	6.99€
Pack Cables	5.99€	1	5.99€
Tornillería	2.50€	1	2.50€
Varilla Roscada	1€	1	1€
Tuercas	0.20€	2	0.40€
Rodamiento	0.30€	1	0.30€
Brida	0.05€	1	0.05€
PLA kilo	19.90€	1.200 Kg	23.88€
Flex filamento kilo	25.90€	10 g	0.26€
TOTAL:			102.23€

Como se puede comprobar se han cumplido los objetivos de mejorar alternativas tanto en prestaciones como en mejoras presupuestarias.

EL prototipo es capaz de distinguir entre dos pacientes, cualidad de la que carece el dispensador Pillo, mencionado en la introducción, además de tener una capacidad de 28 dosis con un volumen máximo de dos pastillas, versus 32 dosis con un máximo de 6 pastillas.

Pero lo que a este apartado compete, Pillo tiene un coste aproximado de 421€ (499 USD) , con el cambio de divisa a fecha de realización del estudio. 411.81% más del presupuesto del dispensador que se ha desarrollado. Además Pillo tiene un coste mensual de mantenimiento de 39.90 USD lo que aumenta aún más si cabe la diferenciación económica.

Se ha conseguido mejorar la alternativa existente actualmente en el mercado, a un coste menor. Con más funcionalidades y con posibilidad de mejoras futuras.

Conclusiones

En este apartado se resumen los principales logros alcanzados en este TFG:

- Se presenta un prototipo de dispensador de medicamentos automático, capaz de distinguir entre uno o dos usuarios.

Este dispositivo da respuesta a la necesidad de organizar y facilitar la toma de medicamentos a pacientes que, por su avanzada edad o movilidad reducida, tienen dificultades para ello. Supone una mejora respecto a los pastilleros clásicos por diversas razones: (1) proporciona una mayor capacidad y por tanto autonomía; (2) reduce la dependencia de terceros; (3) permite la gestión de varios usuarios, mediante un aviso audiovisual, e identificando a cada usuario de forma sencilla (pulsera identificadora RFID)

- Para la fabricación del prototipo se han empleado diversas tecnologías:
 - El diseño y la impresión 3D con materiales de bajo coste. Así se pone de manifiesto versatilidad que tienen esta tecnología para plasmar una idea y materializarla en algo tangible, gracias a las impresoras 3D. Software como Simplify 3D te permiten explorar al máximo las cualidades de las impresoras 3D y demuestra que a un coste muy ajustado puedes producir casi cualquier pieza. A su vez Fusion 360, como software de desarrollo, demuestra la gran versatilidad que tiene para el mundo de la ingeniería, pudiendo realizar desde diseños, hasta estudios de esfuerzos
 - El diseño basado en sistemas empotrados. Aunque el presupuesto del prototipo se ha visto incrementado por el uso de una Raspberry Pi, (este dispositivo supone un tercio del presupuesto), su uso está justificado por las prestaciones que ofrece, tanto en el presente desarrollo, como en favorecer la posibilidad de introducir de mejoras y propiciar líneas de trabajo futuras. También se han realizado tareas de selección e integración componentes electrónicos, diseño de PCBs y las habilidades de soldadura, que han supuesto el desarrollo y la adquisición de nuevas capacidades y competencias.
 - El diseño del software, empleando un lenguaje de programación como Python. El uso de este lenguaje ha permitido responder a las necesidades y problemas planteados en el control del sistema y el interfaz de usuario. Su simplicidad y el potencial que presenta lo convierten en un lenguaje amigable para el desarrollador, pero sin perder ni un ápice de competencias.

En resumen, este trabajo ha supuesto un desafío que ha puesto a prueba los conocimientos y habilidades adquiridas durante la formación universitaria y la capacidad y criterio para adquirir nuevas competencias. Ha permitido acercar y ampliar

todas esas habilidades al mundo real, y para que trabajen en sincronía, cerrando el círculo de lo que se conoce como ingeniería.

Líneas futuras

Como líneas futuras se plantea la conexión con un servidor remoto pudiendo enviar y conocer el estado de manera remota del dispensador. Además pudiendo almacenar en el sistema el horario exacto en el que el paciente ha realizado la ingesta. Información de gran relevancia para posibles estudios clínicos.

Otra posible línea futura sería el envío de una notificación, ya sea por una app móvil o por e-mail, al propio usuario y al responsable del dispensador. Para conocer en todo momento si el paciente ha olvidado tomar un medicamento. Igualmente realizar un código que se ejecute al encender la Raspberry Pi y no depender de un sistema operativo sería la línea futura más interesante.

Referencias

- Aliverti, P. (2017). *Electrónica para makers: Guía Completa*. Marcombo.
- Boehm, B. (Agosto de 1986). *A spiral model of software development and enhancement*.
Obtenido de <https://doi.org/10.1145/12944.12948>
- Fabregas, F. (2020). *Aprender Raspberry Pi 4*. Marcombo.
- Muñoz, A. M., & Sheila Córcoles Córcoles. (2018). *Aprende Python en un fin de semana*.
Time of software.
- Raschka, S., & Mirjalili, V. (2018). *Python Machine Learning*.
- Rovira, N. (2020). *Fusion 360 con ejemplos y ejercicios prácticos*. Marcombo.
sadasdsadsad. (s.f.).
- Strietelmeier, J. (20 de 08 de 2020). *The gadgeteer*. Obtenido de <https://the-gadgeteer.com/2019/01/02/pillo-is-your-personal-pharmacist-robot/>

Apéndice A

Manual de réplica

Para llevar a cabo la réplica de este prototipo además de imprimir en 3D los componentes adjuntos, y obtener los elementos hardware. Es necesario comprobar que el sistema contiene las siguientes librerías y software.

Además de instalar el sistema operativo Raspbian para el correcto funcionamiento del dispensador son necesarias la instalación de las siguientes librerías y software:

- RPIO.GPIO (librería):

Esta librería viene incluida al instalar el sistema operativo Raspbian y es la encargada de controlar los puertos GPIO de la Raspberry.

- Time (librería):

La librería time es la encargada de dotar al software de variables temporales pudiendo usarla en nuestro código. También viene incluida en al instalar el sistema operativo Raspbian.

- Mixer from pygame (librería):

La función de esta librería es dotar de control de la tarjeta de audio de la Raspberry Pi, pudiendo ejecutar archivos MP3 durante la ejecución del código. Viene instalada en el sistema operativo.

- SimpleMFRC522 from mfrc522 (librería):

Nos permite controlar el RFID debe ser instalada en el terminal, es la única librería que no viene instalada de serie.

- VNC Viewer (software):

Su instalación no es obligatoria para el funcionamiento, pero si necesaria si se pretende conectar al dispositivo de manera remota (siempre conectado al mismo servidor de red). VNC es un software de licencia libre con licencia GPL. Deberá ser instalado tanto en la Raspberry Pi como en el PC (controlador).

Apéndice B

Manual uso

A continuación se procederá a detallar el manual de uso desde su ejecución inicial hasta su mantenimiento.

Ejecución Inicial:

La configuración inicial deberá realizarse usando teclado y monitor.

Una vez instalado el entorno, en la memoria microSD, y ensamblado las piezas de manera adecuada. Introduzca vía USB el archivo comprimido llamado *Dispensadorautomatizado.rar*. Copie el archivo y péguelo en el escritorio. Una vez finalizado este paso ya puede retirar la memoria USB. A continuación descomprima el archivo y deberá aparecer en el escritorio una carpeta con el nombre Dispensador Automatizado. Y en su interior los archivos que se muestran en la siguiente ilustración.

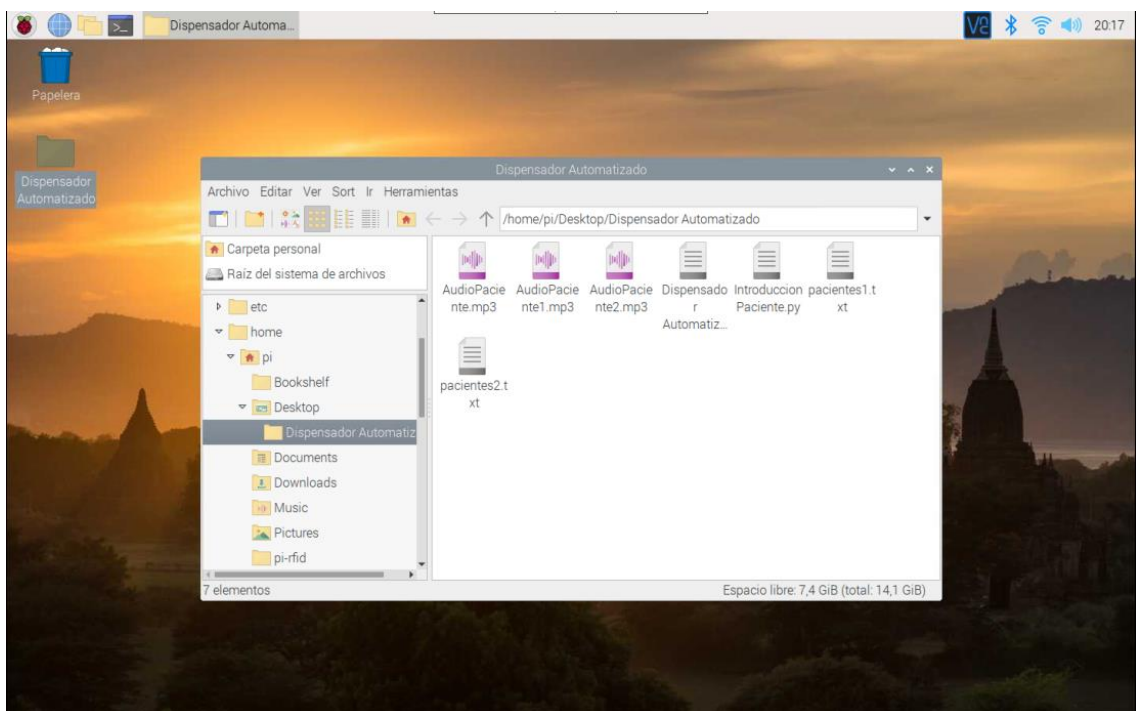


Ilustración 54: Contenido carpeta Dispensador Automatizado

Llenado de plato:



Ilustración 55: Fotograma de video anexo, que muestra el proceso de llenado.

Para llenar las dosis de en el cubículo es necesario numerar cada uno de los depósitos, como se muestra a continuación.



Ilustración 56: Asignación numérica al plato

Como se puede apreciar en la ilustración 51, los contenedores de medicación tienen una codificación doble, numérica y de color. Esta ilustración permite entender de una manera más sencilla el llenado de los pozos.

- Todas los llenados de medicación deben producirse de manera ascendente. Es decir el paciente tomará primero los medicamentos con número menor.
- Si en vez de un paciente son dos la parte proximal (rojo) pertenecerá al paciente 1, y la distal (azul) al paciente 2. Es importante respetar el punto anterior.

El proceso de llenado se ilustra en el vídeo adjunto.

Software de configuración:

Para añadir paciente es necesario ejecutar el programa `introduccionPaciente.Py`

Aparecerá una interfaz donde se podrán modificar y añadir los datos del o los pacientes. A continuación se muestra dicha interfaz. Siga los pasos que se detallan para un correcto funcionamiento del dispositivo.

The screenshot shows a software window titled "Dispensador Automatizado". Inside, there are two main sections for "PACIENTE 1" and "PACIENTE 2". Each section has a vertical list of input fields: "Nombre1:" and "Nombre2:", "Apellido1:" and "Apellido2:", "Codigo1:" and "Codigo2:", "Tomas (MAX 3):", "Hora1(HH:MM):", "Hora2(HH:MM):", and "Hora3(HH:MM):". Below the "Tomas" field in each section is a button labeled "Leer P1" and "Leer P2" respectively. At the bottom center of the window are two buttons: "GUARDAR" and "LIMPIAR".

Ilustración 57: Interfaz administrativo

- Para un paciente:
 - Solo rellene los datos de la columna Paciente 1
 - Comience rellenando Nombre1 , Apellidos1, Tomas y Horas
 - Es importante que si en el apartado Tomas se introduce un número 1 se rellene exclusivamente el campo Hora1. Si se introduce un 2 se rellene tanto el campo Hora1 como Hora2. Y si se introduce un 3 se rellenen además el campo Hora3.
 - Para introducir el código1 pulsar sobre el botón LEER P1 y acercar el identificador RFID asignado a el paciente.
 - Una vez esté la columna llena pulsa el botón GUARDAR.
 - Si aparece algún error, presiona el botón LIMPIAR y comience de nuevo.
- Para dos pacientes:
 - Los pasos son idénticos a añadir un paciente a diferencia del primero. donde se deberá rellenar los campos de la segunda columna.
 - Los valores de Codigo1 y Codigo2 no podrán ser iguales. Si esto sucede se ejecutara un aviso.
 - Añadir las tomas con una distancia mínima de 30 min entre ellas.

Software de control:

La información de los pacientes se guardarán en los archivos Paciente1.txt y Paciente2.txt. Ejecute el programa DispensadorAutomatizado.py y el programa comenzará a funcionar.

Cuando el reloj marque la hora de ingesta de medicamento, por el altavoz comenzará a sonar la locución del paciente que debe tomar la medicación 5 veces una vez pase este periodo comenzara a parpadear el led rojo si es el paciente número uno y verde si es el paciente número 2. El paciente deberá, en un plazo inferior a 30 min, presionar el botón lectura durante 3 segundos y aproximar su identificador RFID. Si no es el correcto continuará la cuenta atrás de 30 min. Si es el correcto el dispensador comenzará a girar y dosificará a dosis preasignada al paciente.

Mantenimiento y precauciones:

Es importante comprobar que las partes móviles estén bien lubricadas antes de poner en funcionamiento el dispositivo

Si en alguna se comprueba un desgaste significativo en alguna pieza, pare de inmediato el dispositivo y notifique a un técnico.

Para la creación de este dispositivo se han utilizado corrientes superiores a las compatibles con la vida. Preste atención a las indicaciones del fabricante de la fuente de alimentación, y mantenga el prototipo fuera del alcance de los niños.

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: DISPENSADOR AUTOMATIZADO PILLO. FUENTE: HTTPS://THE-GADGETEER.COM/2019/01/02/PILLO-IS-YOUR-PERSONAL-PHARMACIST-ROBOT/	6
ILUSTRACIÓN 2: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA PROPUESTA	10
ILUSTRACIÓN 3: ESQUEMA SIMPLIFICADO PROTOTIPO	11
ILUSTRACIÓN 4: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DISPENSADOR AUTOMATIZADO	11
ILUSTRACIÓN 5: DIAGRAMA DE BLOQUES EXTENDIDO, ELEMENTOS DE ENTRADA	12
ILUSTRACIÓN 6: PIEZA MECÁNICA (BLANCA) PULSANDO EL SENSOR.	12
ILUSTRACIÓN 7: DIAGRAMA DE BLOQUES EXTENDIDO, ELEMENTOS DE SALIDA	12
ILUSTRACIÓN 8: SERVOMOTOR MG90S ADHERIDO CON COLA CALIENTE AL ENGRANAJE DEL SERVOMOTOR.	13
ILUSTRACIÓN 9: MOTOR DE PASO COLOCADO EN EL DISPENSADOR	13
ILUSTRACIÓN 10: DRIVER DEL MOTOR DE PASO	14
ILUSTRACIÓN 11: CONEXIÓN JACK 3,5MM	14
ILUSTRACIÓN 12: ALTAVOZ JBL GO2+ UTILIZADO EN EL PROTOTIPADO.	14
ILUSTRACIÓN 13: DIAGRAMA DE BLOQUES EXTENDIDO, DISPOSITIVOS DE E/S	15
ILUSTRACIÓN 14: CONJUNTO INTERFAZ USUARIO	15
ILUSTRACIÓN 15: INTERFAZ ADMINISTRATIVO	16
ILUSTRACIÓN 16: METODOLOGÍA CÍCLICA SEGUIDA EN EL DESARROLLO	17
ILUSTRACIÓN 17: IMPRESORA 3D, SE PUEDE APRECIAR EL EXTRUSOR POR EL QUE SALE EL PLA	18
ILUSTRACIÓN 18: PROTOTIPO FINAL	19
ILUSTRACIÓN 19: INTERFAZ DEL SOFTWARE SIMPLIFY3D SE PUEDE APRECIAR UNA PIEZA DIVIDIDA EN CAPAS QUE SIMULA EL MOVIMIENTO QUE HARÁ LA IMPRESORA.	19
ILUSTRACIÓN 20 PRIMERA FASE DEL DISEÑO DEL PLATO.	20
ILUSTRACIÓN 21 SIMPLIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL DISPENSADOR	20
ILUSTRACIÓN 22: DISEÑO PLATO AVANZADO UNA VEZ SOLUCIONADAS CIERTAS DESVENTAJAS.....	21
ILUSTRACIÓN 23: PLATO FINAL DEL DISPENSADOR AUTOMATIZADO (PLANOS 1/15)	21
ILUSTRACIÓN 24: DISEÑO FINAL DE TAPAS TRASERAS. A LA IZQUIERDA LAS DOS PIEZAS POR SEPARADO Y A LA DERECHA YA ENSAMBLADAS. (PLANOS 2/15 Y 3/15).....	22
ILUSTRACIÓN 25: SOPORTE PRINCIPAL (PLANO 4/15).....	22
ILUSTRACIÓN 26: ESTRUCTURA TRASERA (PLANO 5/15).....	23
ILUSTRACIÓN 27: SUBESTRUCTURAS DELANTERA (PLANOS 6/15 Y 7/15)	23
ILUSTRACIÓN 28: CONJUNTO ESTRUCTURA DELANTERA	24
ILUSTRACIÓN 29: DISEÑO ENGANCHE MOTOR DE PASO A LA IZQUIERDA Y ELEMENTO INSTALADO A LA DERECHA. (PLANO 8/15)	24
ILUSTRACIÓN 30: VÁSTAGO PRINCIPAL DESCARTADO.	24
ILUSTRACIÓN 31: ENGRANAJE PRINCIPAL ENSAMBLADO A LA DERECHA, SUBUNIDAD MAYOR EN EL CENTRO Y SUBUNIDAD MENOR A LA IZQUIERDA. (PLANOS 9/15 Y 10/15)	25
ILUSTRACIÓN 32: COMPUERTA FINAL (PLANO 11/15)	25
ILUSTRACIÓN 33: SOPORTES PERALTADORES (PLANO 12/15)	26
ILUSTRACIÓN 34: PULSERA USUARIO (PLANO 13/15)	26
ILUSTRACIÓN 35: SOPORTE INTERFAZ USUARIO, PERSPECTIVA DISTINTA. (PLANO 14/15)	27
ILUSTRACIÓN 36: ENGRANAJE SERVOMOTOR (PLANO 15/15)	27
ILUSTRACIÓN 37: VARILLA ROSCADA	28
ILUSTRACIÓN 38: RODAMIENTO	28
ILUSTRACIÓN 39: DIAGRAMA DE CONEXIONES	29
ILUSTRACIÓN 40: RASPBERRY PI 4. IMAGEN OBTENIDA DE LA PÁGINA OFICIAL DE RASPBERRY. URL: HTTPS://WWW.RASPBERRYPI.ORG/	29
ILUSTRACIÓN 41: DIAGRAMA DE PINES DE CONEXIÓN DE LA RASPBERRY PI 4. FUENTE: HTTPS://WWW.HWLIBRE.COM/GPIO-RASPBERRY-PI/	30

ILUSTRACIÓN 42: RFID - RC522 USADO EN EL PROTOTIPO	30
ILUSTRACIÓN 43: IDENTIFICADOR RFID	30
ILUSTRACIÓN 44: MG90S SERVOMOTOR.....	30
ILUSTRACIÓN 45: LONGRUNER B07FKJK1H9. DRIVER A LA IZQUIERDA Y MOTOR DE PASO A LA DERECHA.....	31
ILUSTRACIÓN 46: PCB ADHERIDA A LA INTERFAZ DE USUARIO USANDO SILICONA	31
ILUSTRACIÓN 47: DIAGRAMA DE CONEXIONES PCB.....	31
ILUSTRACIÓN 48: FINAL DE CARRERA	32
ILUSTRACIÓN 49: CONEXIÓN REMOTA USANDO VNC VIEWER.....	33
ILUSTRACIÓN 50: VENTANA AÑADIR PACIENTE	33
ILUSTRACIÓN 51: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO AÑADIRPACIENTE.PY	34
ILUSTRACIÓN 52:DIAGRAMA SOFTWARE CONTROL.....	35
ILUSTRACIÓN 53: FOTOGAMA DE VIDEO EXPLICATIVO, DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA COMPUERTA ABIERTA Y COMO HA SALIDO LA MEDICACIÓN	36
ILUSTRACIÓN 54: CONTENIDO CARPETA DISPENSADOR AUTOMATIZADO	43
ILUSTRACIÓN 55: FOTOGAMA DE VIDEO ANEXO, QUE MUESTRA EL PROCESO DE LLENADO.....	44
ILUSTRACIÓN 56: ASIGNACIÓN NUMÉRICA AL PLATO.....	44
ILUSTRACIÓN 57: INTERFAZ ADMINISTRATIVO	45